



TITLE:

イメージング技術を用いた4次元放射線治療の精度向上と効率化に関する研究(Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

宮部, 結城

CITATION:

宮部, 結城. イメージング技術を用いた4次元放射線治療の精度向上と効率化に関する研究. 京都大学, 2018, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2018-03-26

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.r13176>

RIGHT:

京都大学	博士（工学）	氏名	宮部結城
論文題目	イメージング技術を用いた 4 次元放射線治療の精度向上と効率化に関する研究		
<p>（論文内容の要旨）</p> <p>本論文は肺がん等の呼吸性移動を伴う腫瘍に対する4次元放射線治療である動体追尾照射を実現する放射線治療装置の精度検証手法、および臓器動体を考慮した4次元線量計算評価手法に関して研究を行い、得られた結果をまとめたものであり、6章からなっている。</p> <p>はじめに第一章は序論であり、臓器移動が放射線治療に及ぼす影響とその対策として取り組まれてきた方法及びその課題について述べた。</p> <p>第二章では、基盤となる放射線治療装置のイメージガイド機能のコミッショニングと精度検証を行った結果を記述している。MV-X線の治療ビームに対して、位置合わせ用レーザー、kV-X線撮像装置およびコーンビームによるコンピュータ断層撮影(CT)画像のアイソセンタ位置が誤差1.0mm以内と十分な精度を有することを示すとともに、解析評価手法を自動化し定期的な品質保証としても簡便に利用可能にした。また、胸部および骨盤部の人体模擬ファントムを用いてイメージフュージョンソフトウェアによる患者位置決め精度の検証を行い、並進誤差1.0mm、回転誤差1.0° 未満であり臨床使用可能な精度であることを示した。</p> <p>第三章では、電子ポータル画像装置(EPID)を用いて動体追尾照射位置の精度を確認する方法について述べている。2値化処理とエッジ検出によりEPIDに投影される照射野位置を自動検出し、テンプレートマッチングにより照射野中心に対する腫瘍および金マーカー位置の変動を解析している。治療中に目視による照射野内の腫瘍位置変動の確認を容易にするため、動体追尾によるビーム軸座標の変位分を平行移動することで照射野位置を固定して表示する方法を考案した。試作したプログラムによる処理時間は50ミリ秒/フレームであり、治療装置のEPIDの最大フレームレート7.5枚/秒に対しても遅れることなくリアルタイムで結果を提示することが可能であることを示した。</p> <p>第四章では、4次元線量計算手法として先行研究で報告されている手法の動体追尾照射への適用可能性を検討した結果を述べている。動体追尾照射における線量計算には4次元CT画像と非剛体レジストレーションを用いた手法が適しているが、非剛体レジストレーションは症例により線量誤差に繋がる過剰な変形を生じることがあると報告されている。</p> <p>商用の放射線治療計画補助システムに搭載されている非剛体レジストレーションの精度検証を行った結果、胸部領域の肺がん症例では平均誤差1.5mm以下でCTのボクセルサイズ1.0×1.0×2.5mmより小さく臨床上許容可能な範囲であった。しかし、腹部領域の肝臓がんおよび膵臓がん症例においては、変形した臓器輪郭とマニュアル入力した臓器輪郭の比較ではDice係数で平均0.917と良い一致を示すが、臓器内部の画像上均質</p>			

京都大学	博士（工学）	氏名	宮部結城
<p>な領域において物理的に非現実的な変形が生じており臓器内に刺入した放射線治療用マーカーVisicoil位置では最大誤差9.91mmのずれが見られた。現状の非剛体レジストレーションのアルゴリズムでは線量分布の変形で大きな誤差を生じる可能性があり、4次元線量分布の臨床評価に用いるには症例毎に精度確認が必要であることを示した。</p> <p>第五章には、4次元CT画像と非剛体レジストレーションの代替手段として考案した3次元CTとX線透視画像から仮想4次元計算モデルを生成する新たなアルゴリズムについて記述している。4次元線量計算には互いの幾何学位置が関係付けられている複数位相の画像が必要であるが、4次元CT画像から非剛体レジストレーションにより変形量を求めるのではなく、変形量を先に計算して3次元CT画像を変形させて任意の呼吸位相における仮想4次元CT画像を生成することを着想した。患者固有の呼吸性移動量のデータは2方向からのX線透視により得られるが、X線透視の2次元投影画像情報では情報量が不足している。そこで、解剖学知識からあらかじめ構築した典型動体モデルにより補足することで患者モデル全体の変形量を算出した。</p> <p>本研究では、肺がん患者を対象にした典型動体モデルを構築した。胸部の呼吸運動機序を考慮して胸郭の内部と外部に分割した。計算を簡単にするため、胸郭内は肺野と縦郭の境界、気管分岐部を原点として線形に拡張/縮小するものと仮定した。胸壁は剛体であるとみなし、前部/後部/側面に分割し、それぞれアフィン変換により変形を表現している。</p> <p>実証実験として、肺がん患者8症例の4次元CTデータから呼気位相CT画像を変形させて生成した吸気位相の仮想CTデータと、実際の4次元CTから得られる吸気位相CTデータの比較を行った。ランドマーク位置の平均誤差は$2.8 \pm 1.8\text{mm}$であり、4次元CTで非剛体レジストレーションを行った場合に報告されている誤差と同等の値であった。また、腫瘍重心から体表面および肺野表面までの半径距離の誤差はそれぞれ1.0mm、2.0mm以内であり線量計算に及ぼす影響は2%以下と臨床上許容可能な範囲であった。1つの位相の仮想CTを生成するのに要した時間は最大でも40.6秒と非剛体レジストレーションよりも短く、臨床における簡便な4次元線量分布評価に有用であることを示した。</p> <p>最後に、第六章は結論であり、本論文の各章で得られた結果について総括している。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

本論文は 4 次元放射線治療である動体追尾照射の精度向上と効率化を目的として、放射線治療装置の精度検証手法、および臓器動体を考慮した 4 次元線量計算評価手法について研究を行い、得られた結果をまとめたものである。本研究によって得られた主な成果は次のとおりである。

1. 動体追尾照射を実現する放射線治療装置のイメージガイド機能のコミッショニングと精度検証を実施し、臨床使用可能な精度であることを示した。また、解析評価手法を自動化し定期的な品質保証としても利用可能にした。
2. EPID を用いて動体追尾照射位置を簡便に確認する手法を考案した。臨床治療装置への実装はされていないが、試験においてリアルタイム処理が可能であることを示している。
3. 4 次元 CT 画像と非剛体レジストレーションを用いた 4 次元線量計算手法の精度検証を実施し、誤差を定量評価した。レジストレーション誤差により生じる線量への影響は胸部領域では許容可能範囲だが、腹部領域では大きな誤差を生じ臨床使用には適さないことを示した。
4. 非剛体レジストレーションの代替手段として 3 次元 CT と X 線透視画像から仮想 4 次元計算モデルを生成する新たなアルゴリズムを考案した。実証実験により仮想 4 次元計算モデルを用いた線量計算は臨床上許容可能な精度であることを示している。4 次元 CT を撮影することなく簡便に 4 次元線量分布を評価できるため、動体追尾照射だけでなく Adaptive 放射線治療への応用により治療成績の向上も期待できる。

簡便な手順で照射精度の検証解析ができ、治療計画において臓器動体を考慮した正確な線量計算を可能にする本研究の成果は、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 30 年 2 月 20 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。